

# AMPLIFICADORES MMIC BAJO RUIDO EN LA BANDA Q UTILIZANDO TRANSISTORES DE ENRIQUECIMIENTO Y DE DEPLEXIÓN

*Aja B., de la Fuente L., Pascual J.P., Cryan M.\* , Artal E.*

Dpto. Ing. de Comunicaciones. ETSII y de Telecomunicación. Universidad de Cantabria

E-mail: [beatriz@dicom.unican.es](mailto:beatriz@dicom.unican.es)

\* Department of Electronic and Electrical Engineering. Queen's Building. University of Bristol. United Kingdom

## ABSTRACT

Two Q-band monolithic low noise amplifiers have been designed and characterized. A study about depletion and enhancement mode HEMTs with the same technology has been performed in order to apply these results to the design of the low noise amplifiers. These circuits have been developed for being used in the Back End module of the radiometers in the European Scientific mission Planck, because there are not commercial circuits in this frequency band. The main goals for these amplifiers are low noise with a small DC consumption. A minimum noise figure of 2.8 dB with an associated gain of 23.1 dB at 40.4 GHz has been measured for the E-HEMT MMIC LNA and its DC current consumption was 15.45 mA. The D-HEMT MMIC LNA has a minimum noise figure of 3 dB with an associated gain of 23.2 dB at 42 GHz and 30 mA of DC current consumption.

## 1. INTRODUCCIÓN

Planck es una misión del programa científico de la Agencia Espacial Europea (ESA) [1] cuyo objetivo es realizar investigaciones astronómicas en el rango de frecuencias milimétricas y submilimétricas. La misión permitirá caracterizar pequeñas fluctuaciones en la radiación del fondo cósmico de microondas. El instrumento de baja frecuencia (LFI) de Planck agrupa varios radiómetros que cubren el rango de frecuencias desde 30 GHz hasta 100 GHz con cuatro canales centrados a 30 GHz, 44 GHz, 70 GHz y 100 GHz y con un ancho de banda del 20 % cada uno de ellos. El radiómetro de la banda Q con frecuencia central 44 GHz esta formado por un módulo frontal (Front-End Module - FEM) que contiene amplificadores con HEMTs de InP para bajo ruido enfriados a 20 K y un módulo posterior (Back-End Module - BEM) con amplificadores bajo ruido que utilizan HEMTs de AsGa a una alta temperatura (318 K). Debido a la escasez de productos comerciales en esta banda de frecuencia (39.6 GHz – 48.4 GHz) se han desarrollado diseños monolíticos propios específicos para los amplificadores bajo ruido del BEM. Los requerimientos más críticos en el diseño de estos amplificadores son la disipación de potencia y la figura de ruido. Ambas deben de ser lo más bajas posibles ya que el instrumento estará embarcado en un satélite detectando fondo de ruido cósmico así que su ruido inherente debe de ser muy bajo.

Se ha realizado un estudio de los transistores modo depleción (D-HEMT) y modo enriquecimiento (E-HEMT) teniendo en cuenta las necesidades específicas de este proyecto. A partir del diseño y

caracterización de dos amplificadores bajo ruido, cada uno de ellos con un tipo de transistor distinto, se han verificado los resultados obtenidos en el estudio previo. La tecnología escogida ha sido el proceso ED02AH de OMMIC, que emplea transistores HEMT pseudomórficos (P-HEMT) de 0.2  $\mu\text{m}$  de longitud de puerta.

## 2. ESTUDIO DE LOS TRANSISTORES E-HEMT Y D-HEMT

El transistor de enriquecimiento es similar en geometría al de modo depleción, pero eléctricamente aquél no conduce con cero voltios de tensión en la puerta. La anchura de transistor se ha escogido teniendo en cuenta el factor de ruido mínimo ( $F_{\text{min}}$ ) y la corriente drenador-fuente ( $I_{\text{ds}}$ ). La corriente de ruido de salida del drenador aumenta proporcionalmente con  $\sqrt{W}$  ( $W$ : anchura de puerta del transistor) y la corriente de la señal con  $W$ , por lo tanto, bajo ruido significa transistores de tamaño grande. Por otro lado una anchura de puerta grande significa una resistencia de puerta grande que hace que aumente la figura de ruido. La Figura 1 muestra la variación de la figura de ruido mínima ( $NF_{\text{min}}$ ) en función de la anchura de total de puerta ( $W$ ) para transistores con la misma anchura de dedo de puerta pero con diferente número de dedos, y se observa que a mayor número de dedos, menor es la  $NF_{\text{min}}$ .

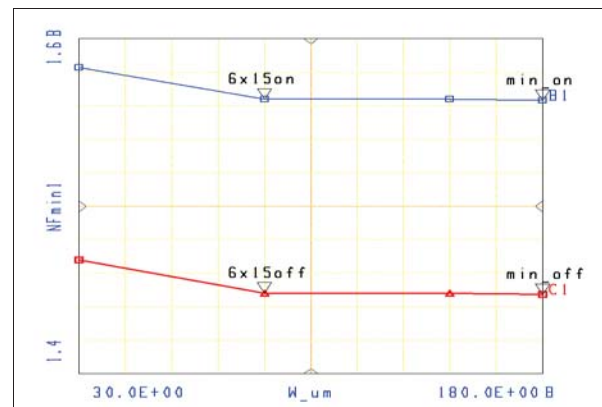


Figura 1.  $NF_{\text{min}}$  versus anchura de puerta ( $W$ ) de un E-HEMT y un D-HEMT

Alcanzado un compromiso entre el consumo y el ruido, los transistores escogidos para realizar los diseños de los amplificadores fueron los de anchura de puerta  $6 \times 15 \mu\text{m}$ .

En la Figura 2 se observa la variación de la figura de ruido mínima en función de la corriente  $I_{ds}$  para los dos modos de transistor. Ambos tienen figuras de ruido mínimas similares pero el transistor de enriquecimiento posee un mínimo en la  $NF_{min}$  con una corriente  $I_{ds}$  ligeramente más pequeña que el de deplexión.



Figura 2.  $NF_{min}$  versus  $I_{ds}$  para transistores  $6 \times 15 \mu\text{m}$   
( $\cdots$ ) E-HEMT y un ( $\longrightarrow$ ) D-HEMT

Con corrientes de drenador pequeñas es necesario tener valores grandes de transconductancia para obtener figuras de ruido pequeñas, ya que el aumento de la  $NF_{min}$  con corrientes de drenador pequeñas está principalmente determinado por la relación  $gm$ - $V_{gs}$ . Cuando las corrientes drenador-fuente son muy pequeñas tanto  $gm$  como la frecuencia de corte se aproximan a cero provocando un rápido aumento en la  $NF_{min}$  cerca del umbral [2]. La Figura 3 y la Figura 4 muestran la  $NF_{min}$  y la  $gm$  en función de la  $V_{gs}$  para un transistor D-HEMT y un E-HEMT respectivamente.

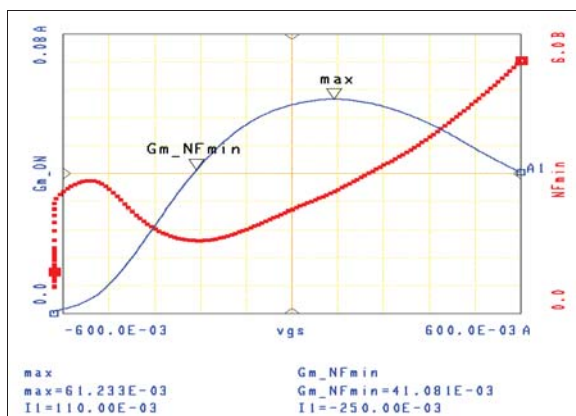


Figura 3.  $NF_{min}$  y  $gm$  versus  $V_{gs}$  para un transistor  $6 \times 15 \mu\text{m}$  D-HEMT

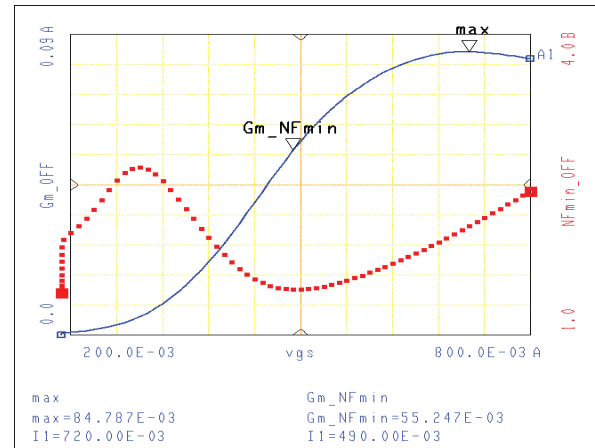


Figura 4.  $NF_{min}$  y  $gm$  versus  $V_{gs}$  para un transistor  $6 \times 15 \mu\text{m}$  E-HEMT

Se observa que la mínima  $NF_{min}$  no corresponde con el máximo de transconductancia sino para un valor ligeramente inferior, con lo cual para obtener la mínima figura de ruido se debe llegar a un compromiso entre la relación  $gm$ - $V_{gs}$  y baja corriente  $I_{ds}$ . En los transistores de enriquecimiento la transconductancia ( $gm$ ) es ligeramente mayor que en los de deplexión para un valor similar de  $NF_{min}$ , obteniéndose la misma  $gm$  con una  $I_{ds}$  más pequeña. El comportamiento en intermodulación para el amplificador bajo ruido con transistores E-HEMT se espera que sea peor que para el amplificador bajo con transistores D-HEMT, pero esto no supone un problema ya que el radiómetro trabajará con señales muy débiles.

### 3. AMPLIFICADORES BAJO RUIDO

Los dos amplificadores de bajo ruido han sido diseñados utilizando el mismo método de diseño; uno de ellos con transistores de deplexión y otro con transistores de enriquecimiento. En la Figura 5 se observa un esquema de la topología de los amplificadores de cuatro etapas en la banda Q.

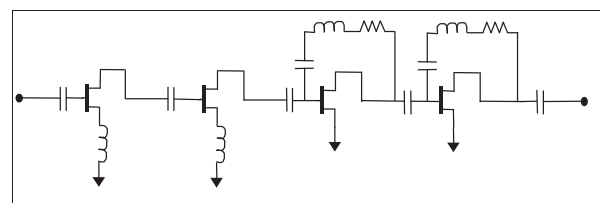


Figura 5. Esquemático del Amplificador MMIC 4 etapas

Las dos primeras etapas, en los dos diseños, llevan realimentación inductiva en la fuente [3] con el fin de obtener bajo ruido con una ganancia y pérdidas de conversión razonables. Las dos últimas etapas llevan realimentación resistiva paralela [4] [5] con el objetivo de obtener una ganancia plana en la banda de operación. En la primera etapa mediante la inductancia de fuente se consigue baja figura de ruido al mismo tiempo que mínimo coeficiente de

reflexión a la entrada, pero a costa de una pérdida de ganancia. Por este motivo se ha incluido una segunda etapa con realimentación de fuente pero con una inductancia diferente a la de la primera etapa. Y de este modo al unir las dos primeras etapas se obtiene bajo ruido con una ganancia más alta con lo cual las dos últimas se utilizan para proporcionar una ganancia mayor sin que tengan mucho impacto en la figura de ruido total del amplificador. La realimentación paralela utilizada en estas dos últimas etapas tiene la ventajas de incrementar el factor de estabilidad, mejorar las pérdidas de retorno a la vez que provee ganancia plana en un gran ancho de banda.

La Figura 6 y la Figura 7 muestran una fotografía de cada uno de los amplificadores monolíticos. Ambos circuitos tienen el mismo tamaño igual a 3x1 mm.

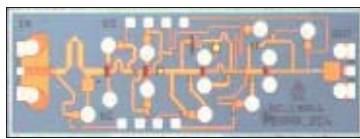


Figura 6. Fotografía del MMIC LNA con D-HEMT

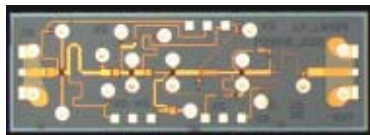


Figura 7. Fotografía del MMIC LNA con E-HEMT

Los dos circuitos han sido medidos en oblea y la figura de ruido con la ganancia asociada de cada uno de ellos se representa en la Figura 8 y la Figura 9.

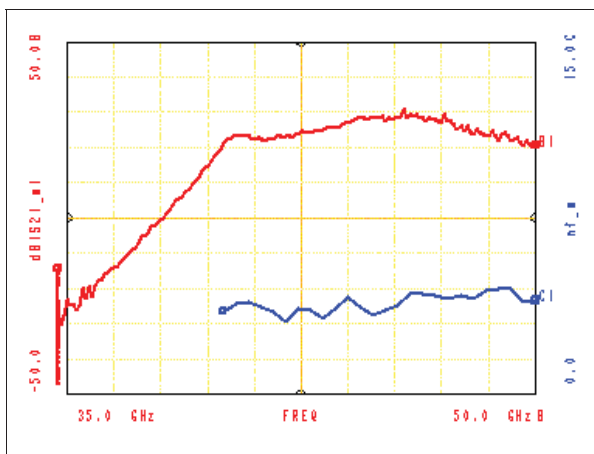


Figura 8. Ganancia y figura de ruido del MMIC LNA con D-HEMT

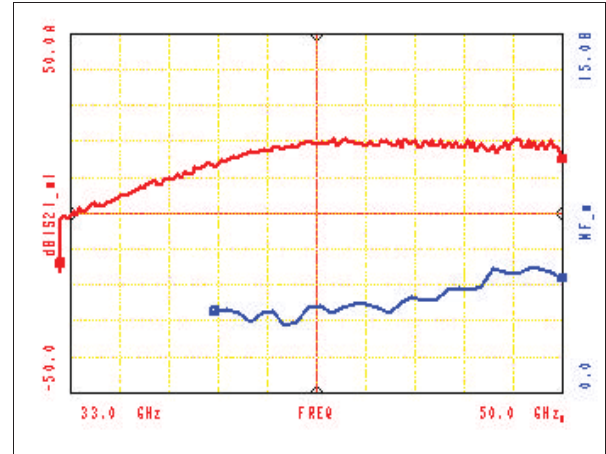


Figura 9. Ganancia y figura de ruido del MMIC LNA con E-HEMT

El MMIC LNA con los E-HEMT tiene un mínimo de 2.8 dB de figura de ruido a 40.4 GHz con una ganancia asociada de 23.1 dB. Para el caso D-HEMT la mínima figura de ruido es 3 dB con una ganancia asociada de 23.2 dB a 42 GHz. Los consumos son de 15 mA y 30 mA respectivamente, lo cual corrobora los resultados obtenidos del estudio de los transistores.

En las Figura 10 y Figura 11 se ha realizado una comparación de las figuras de ruido simuladas y medidas de cada uno de los circuitos amplificadores de bajo ruido. Se puede observar que la simulación predice bastante bien el comportamiento en cuanto a figura de ruido de los circuitos. La medida esta representada mediante la línea de puntos y la simulación mediante la línea continua.

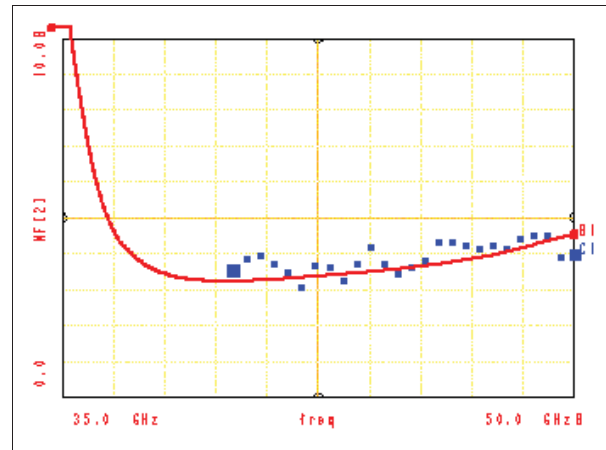


Figura 10. Figura de ruido medida y simulada del MMIC LNA con D-HEMT

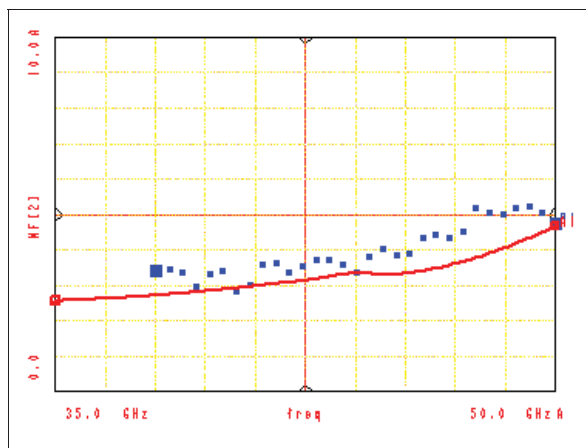


Figura 11. *Figura de ruido medida y simulada del MMIC LNA con E-HEMT*

#### 4. CONCLUSIONES

Se ha realizado un estudio comparativo de los transistores HEMT de deplexión y de enriquecimiento. Los resultados obtenidos han sido utilizados para el diseño de dos amplificadores MMIC de bajo ruido en la banda Q, cada uno de ellos con un tipo de transistor. Ambos circuitos amplificadores presentan similares figura de ruido y ganancia, pero el E-HEMT posee una  $I_{ds}$  menor dando lugar a un ahorro de potencia cercano al cincuenta por ciento. En este último una pequeña variación de la tensión puerta-fuente es más crítico en cuanto a la figura de ruido. El

amplificador bajo ruido con D-HEMT tiene un mínimo de figura de ruido 3 dB con una ganancia asociada de 23.2 dB a 42 GHz. El MMIC LNA con E-HEMT tiene un mínimo de 2.8 dB de figura de ruido a 40.4 GHz con una ganancia asociada de 23.1 dB.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido cofinanciado por la CICYT y la Comisión Europea (referencia 1FD97-1769-C04-02).

#### 6. REFERENCIAS

- [1] ESA Astrophysics Home page of Science team of Planck: <http://astro.estec.esa.nl/Planck/>
- [2] R. Soares, "GaAs MESFET Circuit Design", Artech House 1988
- [3] J. Engberg, "Simultaneous input power match and noise optimization using feedback", in *Proc. 4<sup>th</sup> European Microwave Conf.* 1974, pp.385-389.
- [4] K.B. Niclas, "GaAs MESFET feedback amplifiers: design considerations and characteristics", *Microwave Journal*, pp. 39-48 & 85, Mar. 1980.
- [5] K.B. Niclas, W. T. Wilser, R. B. Gold & W. R. Hitchens, "The matched feedback amplifier: Ultrawide-band microwave amplification with GaAs MESFETs", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech*, vol. MTT-28, pp.285-294, Apr. 1980.